

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Географический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Декан географического факультета,
академик РАН Добролюбов С.А.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физико-математические основы ландшафтоведения

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.02 «География»

Направленность (профиль) ОПОП:

«Физическая география и ландшафтоведение»

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

*Учебно-методической комиссией географического факультета
(протокол №19, дата 24.03.2023)*

Москва 2023

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «География» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемым последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В.Ломоносова от 30 декабря 2020 года (протокол №19, дата 24.03.2023).

Год (годы) приема на обучение: 2021.

© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Программа не может быть использована без разрешения факультета.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП -

относится к вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: базируется на знаниях по дисциплинам «Геоморфология с основами геологии», «География почв с основами почвоведения», «Экология с основами биогеографии», «Климатология с основами метеорологии», «Гидрология», «Ландшафтоведение».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
СПК-1.Б (формируется частично) владеет теоретическими, методическими и практическими приемами исследования структуры, динамики, функционирования, эволюции географического ландшафта.	СПК-1. Знает и применяет теоретические, методические и практические приемы исследования структуры, динамики, функционирования, эволюции географического ландшафта.	Знать: <ul style="list-style-type: none">• Основные концепции создания физико-математической теории ландшафта• Физические законы основных процессов переноса вещества и энергии в геосистемах различного уровня.• Принципы построения теоретических моделей структуры и функционирования ПТК. Уметь: <ul style="list-style-type: none">• Выбрать для описания конкретных компонентов и частей природно-территориальных комплексов (ПТК) параметры силовых полей основных структурообразующих процессов и применить для их описания физические (геофизические) законы разной степени фундаментальности.• Поставить задачу математического моделирования структуры ПТК и моделирования процессов переноса вещества и энергии с помощью известных пакетов прикладных программ (ГИС и специальных программ) Владеть: <ul style="list-style-type: none">• Методами получения параметров основных геофизических силовых полей (поля гравитации и поля инсоляции) на основе цифровых моделей местности, данных дистанционного зондирования

		Земли и стандартных полевых методов измерения геофизических параметров. <ul style="list-style-type: none"> • Методами численной классификации (дифференциации) ПТК разного иерархического уровня.
--	--	--

4. Объем дисциплины (модуля) 2 з.е., в том числе 54 академических часа на контактную работу обучающихся с преподавателем, 18 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

5. Формат обучения не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.).

6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы*</i>			Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	Работа с литературой	Подготовка реферата	Всего
Введение.							
Тема 1. Предпосылки создания теории геосистем	4	3		3	1		1
Тема 2. Положения классической физики и их соотнесение с геосистемным анализом	10	6	3	9	1		1
Тема 3. Анализ земной поверхности в геофизических полях	10	6	2	8	2		2
Текущая аттестация №1. Контрольная работа	1		1	1			
Тема 4. Моделирование геофизической дифференциации ландшафтов	11	6	3	9	2		2
Тема 5. Абиогенный перенос вещества и энергии	10	6	2	8	2		2
Тема 6. Биогенные процессы переноса вещества и энергии	6	3	2	5	1		1
Текущая аттестация №2. Контрольная работа	1		1	1			
Тема 7. Моделирование геосистем на основе синтеза моделей структуры и	5	3		3	2		2

функционирования							
Тема 8. Планирование устойчивого природопользования на основе теории геосистем	7	3	3	6	1		1
Текущая аттестация №3. Защита реферата	3		1	1		2	2
Промежуточная аттестация	4	<i>Зачет</i>				4	4
Итого	72	36	18	54	18		18

Содержание лекций и семинарских занятий:

Раздел 1. Введение.

Тема 1. Введение. Предпосылки создания теории геосистем

Основные регулятивы теории. Парадигма "нелинейной" науки. Предпосылки развития эмпирической теории ландшафта. Пространственно-временные соотношения в геосистемах и протекающие в них процессы. Матрица основных структурообразующих процессов. Дифференциация поверхности рельефа с точки зрения перераспределение параметров основных геофизических полей, являющихся движущими силами этих системообразующих процессов. Основные приемы моделирования и аппарат моделирования геосистемных процессов.

Тема 2. Положения классической физики и их соотнесение с геосистемным анализом

Понятия классической физики, основополагающие постулаты для вывода теории ландшафта: геометрия пространства и координатные системы отсчета геосистем; материальные точки (частицы) и абсолютно твердое тело; состояние физической системы и движение системы частиц; силовые поля и взаимодействия; потенциальное поле и градиент потенциала; гравитационный потенциал Земли; обобщенный поток с точки зрения термодинамики необратимых процессов. Билинейное уравнение Онзагера. Принципы классификации природных явлений, объектов и процессов по определяющим потокам, по градиентам потенциалов (движущим силам), и величинам феноменологических коэффициентов обобщенной проводимости.

Раздел 2. Моделирование структуры геосистем

Тема 3. Анализ земной поверхности в геофизических полях

Определяющие движущие силы, индуцирующие все потоки в геосистемах: градиенты поля силы тяжести и градиенты поля инсоляции. Уравнения теории поля и дифференциальной геометрии являются - необходимое условие для геофизического описания потенциальной дифференциации природных территориальных комплексов (ПТК). Обоснование системы морфометрических величин (МВ), описывающих распределение градиентов геофизических полей гравитации и инсоляции. Четыре класса морфометрических величин и понятий; геометрический и физический смысл кривизны; кривизны земной поверхности и механизмы аккумуляции вещества; водосборные морфометрические характеристики земной поверхности; инсоляционные характеристики земной поверхности. Пространственное распределение МВ по цифровым моделям рельефа (DEM) экспериментальных территорий. Верификация морфометрических параметров по полевым данным.

Тема 4. Моделирование геофизической дифференциации ландшафтов

Общий алгоритм выделения однородной территории по параметрам градиентов определяющих полей и индуцированным потокам, а так же и по феноменологическим коэффициентам. Построение типологической и функциональной структуры ПТК на основе системы морфометрических величин (МВ), описывающих распределение градиентов геофизических полей гравитации и инсоляции, и цифровых данных дистанционного зондирования методами численной классификации. Проверка статистической достоверности автоматизированных процедур дифференциации локальных ПТК и верификация выделенных классов на основе материалов полевых комплексных исследований. Морфометрическое описание поверхности рельефа и

геофизическая дифференциация ПТК - граничные условия, которые обеспечивают однозначность и единственность решения дифференциальных уравнений переноса не только в задачах гидролого-гидрогеологического цикла, но и во всех остальных задачах описания процессов функционирования ландшафтов.

Раздел 3. Моделирование функционирования геосистем

Тема 5. Абиогенный перенос вещества и энергии

Процессы водного стока - основа функционирования геосистем. Вывод уравнений переноса из простейших постулатов: плотность и скорость среды; поток величины, дивергенция вектора; уравнение неразрывности. Динамика потоков поверхностных вод. Общие уравнения движения сплошной среды, уравнения Навье-Стокса, уравнение турбулентного движения. Моделирование поверхностного дождевого склонового стока на практическом примере модели кинематической волны с проведение верификации по экспериментальным результатам дождевания комбинированного поле-лес склона. Движение подземных вод, закон Дарси, основные уравнения фильтрации подземных вод. Простейшие схемы расчета уровней грунтовых вод для экспериментальных объектов. Вывод уравнений диффузии, законы Фика. Диффузия и дисперсия в различных средах. Вертикальный влагоперенос в ненасыщенных почвах, всасывающее давление и термодинамический капиллярно-сорбационный потенциал влаги в почвах. Вертикальная миграция растворенных химических веществ в почвах с различными режимами фильтрации, изотермами адсорбции и описанием пористой среды. Практический пример: моделирование переноса растворов в дерново-подзолистых почвах с аппроксимацией параметров по результатам экспериментов миграции растворов удобрений в монолитах почв естественного сложения. Теплоперенос в различных средах. Общие уравнения теплопереноса и задача о фазовых переходах при промерзании-оттаивании почв.

Тема 6. Биогенные процессы переноса вещества и энергии

Физико-математические модели продукционных процессов типа «зеленая машина» с подробным описанием процессов всасывания и транспирации влаги, поглощения и выдыхания газов, поглощения элементов минерального питания в зависимости от внешних условий. Описание процессов фотосинтеза с применением полуэмпирических моделей. Демонстрация принципов создания моделей перехвата и трансформация дождевых осадков пологом леса в качестве сшивания процессов в ПТК и биогенного переноса.

Тема 7. Модели геосистем на основе синтеза моделей структуры и функционирования

Модели структуры и функционирования болотных ландшафтов (по Иванову К.Е., 1975) Общие свойства болотообразования и гидродинамические характеристики болотных массивов. Связь гидрологических и климатических характеристик с морфологией и строением болота. Основное уравнение гидроморфологических связей болотного массива. Обобщенная модель гидрологического функционирования лесной геосистемы водосбора. Типологическая и бассейновая структуры ландшафтов – граничные условия решения уравнений гидрологического стока с распределенными параметрами и имитационных моделей продуктивности разнопородного древостоя. Пример применения модели для расчета скорости и расходов потока и времени добега для водосбора малой таежной реки по априорным данным.

Тема 8. Планирование устойчивого природопользования на основе теории геосистем

Использование теоретических моделей для ландшафтного планирования. Пример моделирования долгосрочного устойчивого лесопользования в условиях сложного конечно-моренного южно-таежного ландшафта для зонирования экспериментальной территории по условиям устойчивости лесных древостоев к рубкам главного лесопользования.

Семинар по теме 1. Обсудить вопросы:

- 1). Предпосылки развития теории ландшафта с точки зрения соответствия основным принципам естественно-научной теории
- 2). Иерархический перечень основных характерных времен процессов в геосистемах
- 3). Основные движущие силы геосистемных структурообразующих процессов

Семинар по теме 2. Обсудить вопросы:

- 1). Перечень известных (гео)физических постулатов теории геосистем
- 3). Фундаментальные переменные и функции состояния физической системы
- 3). Билинейное уравнение Онзагера с точки зрения классификации геосистем

Семинар по теме 3. Обсудить вопросы:

- 1). Определение физического и математического смысла градиента силового поля и дивергенции вектора, дать примеры использования в теории геосистем
- 2). Морфометрические величин, описывающих силовые геофизические поля и их использование в теории геосистем
- 3). Проанализировать значение цифровой модели рельефа для описания силовых геофизических полей и параметров состояния геосистем

Семинар по теме 4. Доклады студентов (с презентацией) по примерным темам:

- 1) Дешифрирование ландшафтных свойств (признаков) по спектрально-зональным изображениям ДДЗ
- 2) Анализ типологической структуры ландшафтов по морфометрическим параметрам определяющих силовых полей
- 3). Иерархическое описание дренажных (речных) систем с точки зрения моделирования геосистем

Семинар по теме 5. Доклады студентов (с презентацией) по примерным темам:

- 1). Постановка задачи описания поверхностного склонового дождевого стока на основе уравнения кинематической волны. Численные расчеты с изменением параметров модели.
- 2). Вывод уравнения диффузии и конвективной диффузии, их значение для описания процессов переноса в геосистемах
- 3). Постановка модели ненасыщенного влагопереноса на основе термодинамики влаги в почве
- 4). Структура моделей массопереноса в почвах и пути их детализации по конкретным процессам
- 5). Модели теплопереноса в почвах и теплопереноса при фазовых процессах и их роль для теории геосистем

Семинары по теме 6. Обсудить вопросы:

- 1). Общая система уравнений продукционных процессов и их ландшафтный смысл
- 2). Физическую сущность процессов переноса влаги в пологе растительности
- 3). Обоснование параметров и вывод модели перехвата дождевых осадков пологом леса

7. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине:

Примерный темы для рефератов

1. Геофизические методы подповерхностного зондирования почв и отложений в ландшафтоведении.
2. Использование методов морфометрии рельефа для определения градиентов физических полей.
3. Моделирование структуры ПТК на основе морфометрических параметров полей гравитации и инсоляции, и цифровых данных ДДЗ.
4. Методы и материалы лесоустройства для целей ландшафтных исследований.
5. Математическое моделирование латеральных ландшафтообразующих процессов.
6. Математическое моделирование радиальных ландшафтообразующих процессов.

7. Математическое моделирование биогеофизических продукционных процессов.
8. Математическое моделирование биогеохимических процессов миграции вещества.

Примерный перечень вопросов к контрольным работам

Тема 3.

1. Выписать уравнения градиента силовых полей и дивергенции вектора и дать определение их физического и математического смысла
2. Привести и обосновать примеры глобальных и локальных морфометрических величин, описывающих силовые геофизические поля
3. Дать описание физического смысла и доказать теоремы о двух механизмах аккумуляции вещества
4. Проанализировать значение цифровой модели рельефа для расчета параметров описания силовых геофизических полей

Тема 5.

1. Вывести одномерное и трехмерное уравнение переноса
2. Вывести уравнение Навье-Стокса
3. Объяснить на физическом уровне строгости возможные пути интегрирования уравнений Рейнольдса для получения уравнений гидравлики речного потока и сплошного дождевого стока
4. Выполнить постановку задачи описания поверхностного склонового дождевого стока на основе уравнения кинематической волны
5. Вывести на физическом уровне строгости уравнения диффузии и конвективной диффузии
6. Описать модель влагопереноса в почве на основе уравнений диффузии
7. Описать структуру модели массопереноса в почвах и пути ее детализации по конкретным процессам
8. Описать модели теплопереноса в почвах и теплопереноса при фазовых процессах

Тема 6.

1. Написать общую систему уравнений экологических и продукционных процессов и объяснить их ландшафтный смысл
2. Описать физическую сущность процессов переноса влаги в пологом растительности
3. Описать физическую сущность процессов переноса газов в пологом растительности
4. Описать процессы фотосинтеза с применением полуэмпирических моделей разной сложности
5. Вывести уравнение перехвата дождевых осадков пологом леса

Примерный перечень вопросов к устному зачету

1. Физико-математическое естествознание – методология построения теории геосистем.
2. Основные геосистемные постулаты. Геометрия пространства и координатные системы, материальные частицы и абсолютно твердое тело. Состояние физической системы и движение системы частиц. Силовые поля и взаимодействия. Потенциальное поле и градиент потенциала. Геопотенциал.
3. Дифференциация геосистем с точки зрения термодинамики необратимых процессов. Билинейное уравнение Онзагера
4. Границы геосистем и предпосылки их формализации. Система морфометрических величин. Четыре класса морфометрических величин и понятий
5. Геометрический и физический смысл кривизны. Кривизны земной поверхности и механизмы аккумуляции вещества
6. Водосборные морфометрические характеристики земной поверхности. Инсоляционные характеристики земной поверхности

7. Общий алгоритм определения однородной территории по параметрам. Методы численной дифференциации ПТК и выбор параметров геофизических полей
8. Типологическая дифференциация ПТК по геоморфометрическим параметрам цифровых моделей рельефа и цифровым параметрам данных дистанционного зондирования Земли
9. Функциональная дифференциация геосистем по гидроморфологическим параметрам
10. Плотность и скорость среды. Полный дифференциал функции двух переменных, градиент поля
11. Поток величины, формула Гаусса-Остроградского, дивергенция вектора
12. Вывод уравнения неразрывности, одномерный случай. Уравнение неразрывности пространственный случай
13. Уравнение движения сплошной среды, идеальная жидкость, уравнение Эйлера
14. Связь тензора напряжений с тензором скоростей. Уравнение Навье-Стокса
15. Уравнения турбулентного движения, осреднение и упрощение уравнений Рейнольдса, формулы Шези-Маннинга, одномерное уравнение Сен-Венана
16. Уравнение кинематической волны. Моделирование поверхностного дождевого склонового стока. Схематизация процесса и математическая постановка задачи
17. Закон Дарси. Уравнение установившейся фильтрации напорных несжимаемых подземных вод
18. Вывод основного уравнения неустановившейся фильтрации грунтовых вод
19. Движение вод со свободной поверхностью при горизонтальном водоупоре. Построение кривой депрессии УГВ
20. Переход от напорного потока к решениям для потока со свободной поверхностью. Движение вод на междуречье с горизонтальным водоупором при учете инфильтрации.
21. Вывод уравнений диффузии. Диффузия в многомерном пространстве
22. Дисперсия в движущейся среде, источники-стоки вещества. Дисперсия в пористой среде.
23. Вертикальный диффузионный влагоперенос в почвах
24. Сорбция и вертикальная миграция растворенных химических веществ в почвах
25. Массоперенос фосфора и азота в почвах с описанием сорбционных и трансформационных процессов
26. Модели с детализированным описание почвенной среды
27. Теплоперенос в различных средах
28. Задача о фазовых переходах в воде и почве при промерзании-оттаивании
29. Общие понятия и модели популяционной динамики, модели «хищник-жертва»
30. Кинетические модели трофических цепей и малого биологического круговорота
31. Применение теории размерности в построении модели развития древостоя
32. Модель пространственной динамики древостоя диффузионного типа.

Шкала и критерии оценивания

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – *устный зачет*

Оценка РО и соответствующее виды оценочных средств	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Знания (виды оценочных средств: контрольная работа)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания

Умения (виды оценочных средств: практические контрольные задания)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности)(виды оценочных средств: практические контрольные задания)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

8. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной и дополнительной литературы

Основная учебная литература:

Сысуев В.В. Физико-математические основы ландшафтоведения. Учебное пособие. М.: Географический ф-т МГУ, 2003. 245 с.

Сысуев В.В. Введение в физико-математическую теорию геосистем. М.: URSS, 2020. 600 с.

Сысуев В.В. Моделирование процессов в ландшафтно-геохимических системах. М.: URSS, 2020. 302 с.

Дополнительная литература:

Астахов А.В. Курс физики. Т. 1. Механика, кинетическая теория материи. М., Наука, 1977

Бихеле З.Н., Молдау Х.А. и Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. Л., Гидрометеиздат, 1980

Гришанин К.В. Теория руслового процесса. М., Транспорт, 1972.

Дьяконов К.Н. Геофизика ландшафта. Метод балансов. Учебно-методическое пособие. М., МГУ, 1988,

Иванов К. Е. Основы гидрологии болот. // Общая гидрология, Л., Гидрометеиздат, 1984.

Климентов П.П., Кононов В.М. Динамика подземных вод. М. Высшая школа, 1985.

Кучмент Л.С., Демидов В.Н., Мотовилов Ю.Г. Формирование речного стока. М., Наука, 1983.

Пузаченко Ю.Г. Основы экологии. М., МГУ, 1996

Пьявченко Н.И. Торфяные болота, их природное и хозяйственное значение. М., Наука, 1985.

Свирижев Ю.М., Логофет Д.О. Устойчивость биологических сообществ. М., Наука, 1978

Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л., Гидрометеиздат, 1981

Shary P.A. Land surface in gravity points classification by a complete system of curvatures // Mathematical Geology, 1995, V. 27. No 3. P. 373-390.

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Реферативная база данных издательства Elsevier: www.sciencedirect.com

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Поисковая система научной информации: www.scopus.com

Электронная база научных публикаций: www.webofscience.com

Научная библиотека МГУ: www.nbmgu.ru

Научная Электронная библиотека <http://www.e-library.ru>

Сайт кафедры физической географии и ландшафтоведения www.landsedu.ru

Сайт экологического центра «Экосистема» www.ecosystema.ru

Описание материально-технической базы

Учебная аудитория на 15 человек с мультимедийным проектором

9. Язык преподавания: русский

10. Преподаватель: ответственный за курс - Сысуев Владислав Васильевич, профессор, преподаватель- Сысуев Владислав Васильевич, профессор,

11. Разработчики программы: Сысуев Владислав Васильевич, профессор.